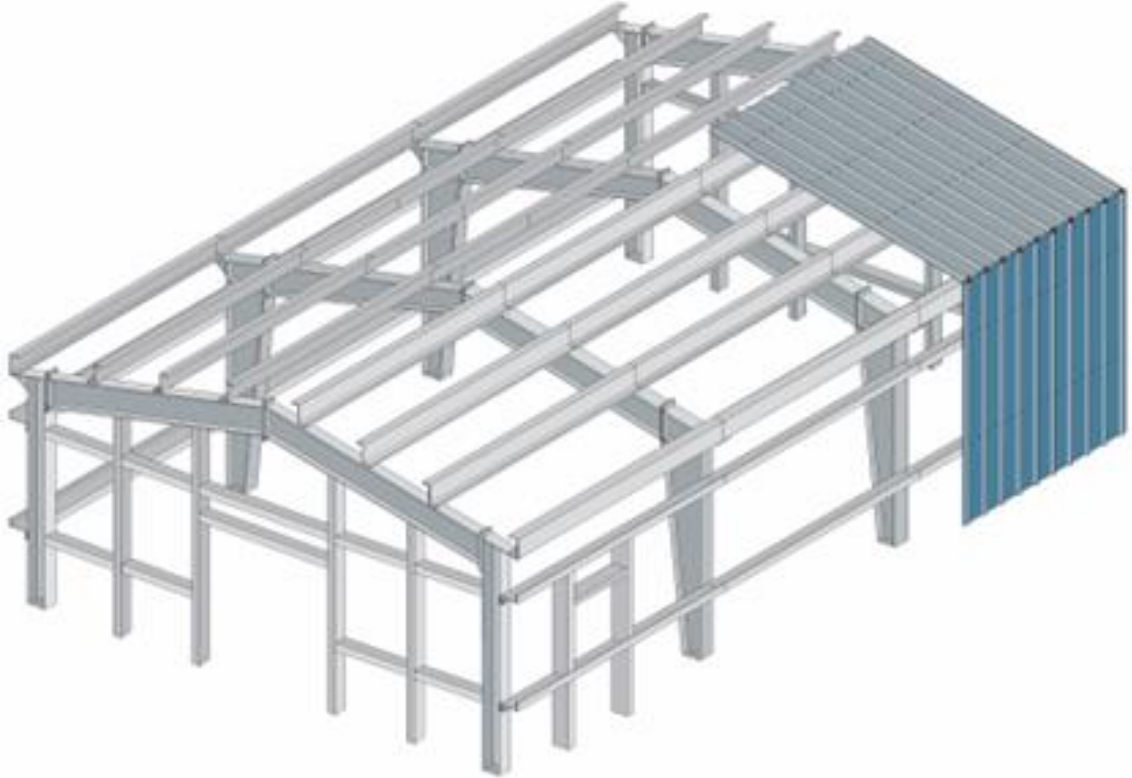


## 9. ÇELİK KOLONLAR

### 9.1. GİRİŞ

Boyutlandırılmasında aksenal basınç kuvveti ve eğilme momentinin etken kesit tesiri olan, genellikle düşey taşıyıcılar olarak karşılaşılan yapı elemanları kolon olarak adlandırılır. Kolonlar, burulma etkisi altında veya burulma olmaksızın, aksenal kuvvet ve bir veya iki eksen etrafında eğilme (**bileşik eğik eğilme**) etkisindeki elemanlar olarak karşımıza çıkarlar.

Bir yapının güvenliğinden söz edebilmek için öncelikle kolonlarının güvenli olması gerekir. Özellikle depreme dayanıklı yapı tasarımda en önemli prensiplerden biri güçlü kolon-zayıf kiriş prensibidir. Bu prensibi temel felsefesi plastik mafsalların kirişte oluşması ve kolonlarda taşıma sığalarının asla aşılmamasıdır. Bu nedenle kolonlar yapıda güvenlik açısından en öncelikli elemanlardır. Kolonlar tek parçalı ya da çok parçalı olarak tasarlanabilir. Tek parçalı olarak genellikle I, U, kutu ve boru enkesitler kullanılabilir. Çok parçalı olarak oldukça fazla enkesit alternatifi söz konusu olabilir. Bu tamamen tasarımcı mühendisin mesleki bilgi birikimi ve tecrübesine bağlıdır.



### 6.2 KOLONLARDA ETKİLEŞİM FORMÜLLERİ

Gerekli ve mevcut dayanım arasında ilişki aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

$$\text{Gerekli dayanım} / \text{mevcut dayanım} \leq 1.0 \quad (6.1)$$

$$\left[ \frac{\sum \gamma_i Q_i}{\phi R_n} \right]_{LS1} + \left[ \frac{\sum \gamma_i Q_i}{\phi R_n} \right]_{LS2} + \dots \leq 1.0 \quad (6.2)$$

**Basınç elemanları için aksenal basınç dayanımı;**

$$\text{YDKT için: } \frac{P_u}{\phi_c P_n} \leq 1.0 \quad (6.3)$$

$\phi_c$  = resistance factor for compression = 0.90

$$\text{GKT için: } \frac{P_a}{P_n / \Omega_c} \leq 1.0 \quad (6.4)$$

$\Omega_c$  = resistance factor for compression = 1.67

Yukarıdaki ifadeler genel formda şöyle yazılabilir;

$$\frac{P_r}{P_c} \leq 1.0$$

Burada;

$P_r$ =gerekli aksenal dayanım

$P_c$ =mevcut aksenal dayanım

**Tek aksenli eğilme momenti ve aksenal basınç kuvveti durumunda;**

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c} \leq 1.0$$

$M_r$ =gerekli moment dayanımı;

YDKT için  $M_r = M_u$

GKT için  $M_r = M_a$  olur.

$M_c$ =mevcut moment dayanımı;

YDKT için  $M_c = \phi_b M_n$ ,

GKT için  $M_c = \frac{M_n}{\Omega_b}$  olur.

**İki eksenli eğilme momenti ve aksenal basınç kuvveti durumunda;**

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \leq 1.0$$

ÇYTY-2016'a göre;

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

YDKT için;  $P_r = P_u, M_r = M_u$

GKT için;  $P_r = P_a, M_r = M_a$

### **6.2.1 YDKT Etkileşim Denklemleri;**

***Tek Eksenli Eğilme ve Aksenal Kuvvet;***

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \frac{M_u}{\phi_b M_n} \leq 1.0$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.2 \text{ için}$$

$$\frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \frac{M_u}{\phi_b M_n} \leq 1.0$$

**İki eksenli eğilme ve aksenal kuvvet;**

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.2 \text{ için}$$

$$\frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0$$

### 6.2.2 GKT Etkileşim Denklemleri;

#### ***Tek eksenli eğilme ve aksenal kuvvet;***

$$\frac{P_a}{P_n / \Omega_c} \geq 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_a}{P_n / \Omega_c} + \frac{8}{9} \frac{M_a}{M_n / \Omega_b} \leq 1.0$$

$$\frac{P_a}{P_n / \Omega_c} < 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_a}{P_n / \Omega_c} + \frac{M_u}{M_n / \Omega_b} \leq 1.0$$

#### ***İki eksenli eğilme ve aksenal kuvvet;***

$$\frac{P_a}{P_n / \Omega_c} \geq 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_a}{P_n / \Omega_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ax}}{M_{nx} / \Omega_b} + \frac{M_{ay}}{M_{ny} / \Omega_b} \right) \leq 1.0$$

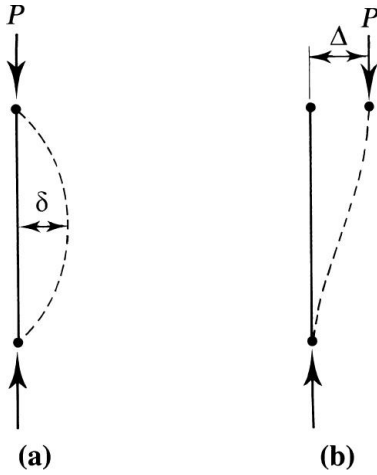
$$\frac{P_a}{P_n / \Omega_c} < 0.2 \text{ için}$$

$$\frac{P_a}{2P_n/\Omega_c} + \left( \frac{M_{ax}}{M_{nx}/\Omega_b} + \frac{M_{ay}}{M_{ny}/\Omega_b} \right) \leq 1.0$$

### 6.3 GEREKLİ DAYANIM İÇİN ÇÖZÜMLEME YÖNTEMLERİ

Eksenel kuvvet ve eğilme momenti birlikte etkiyen elemanların çözümlenmesinde, yukarıda verilen yaklaşım, eksenel kuvvetin çok büyük olmaması ve yerdeğıştirmelerin küçük olması durumunda yeterli bir yaklaşımdır. Yerdeğıştirmeler büyük olması halinde ise eksenel kuvvet küçükse meydana gelecek ikinci mertebe momentlerde küçük olur büyük ise ikinci mertebe momentlerde ihmal edilemeyecek büyüklükte olurlar ve mutlaka çözümlenmede dikkate alınması gerekir. Yerdeğıştirmelerin yeter derecede küçük olmadığı yapı sistemlerinde denge denklemlerinin şekil değıştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir. Geometri değışimlerinin (yerdeğıştirmelerin) denge denklemlerine etkisinin göz önüne alındığı bu teoriye **ikinci mertebe teorisi** denir.

İkinci mertebe teorisinde yerdeğıştirmelerin geometrik süreklilik denklemlerine etkisi terkedilmektedir. Bu etkinin de göz önüne alındığı teoriye *sonlu deplasman teorisi* adı verilir. İnşaat mühendisliği kapsamındaki yapı sistemlerinde yerdeğıştirmelerin belirli sınır değıerleri aşmasına izin verilmediğinden, yerdeğıştirmelerin geometrik süreklilik denklemlerine etkisi çok kere terkedilebilecek düzeyde kalmaktadır. İkinci mertebe teorisi lineer olmadığından *süperpozisyon prensibi* geçerli değildir. Bu nedenle güvenlik gerilmeleri esasına göre hesap yapılamaz. Bunun yerine işletme (servis) yüklerinin güvenlik katsayıları ile çarpımından oluşan *hesap yükleri (tasarım yükleri)* altında, sistem ikinci mertebe teorisine göre hesaplanarak kesit zorları bulunur. Bu kesit zorlarından oluşan gerilmeler sınır gerilmeyi aşmayacak şekilde, sistem boyutlandırılır[E.Özer]



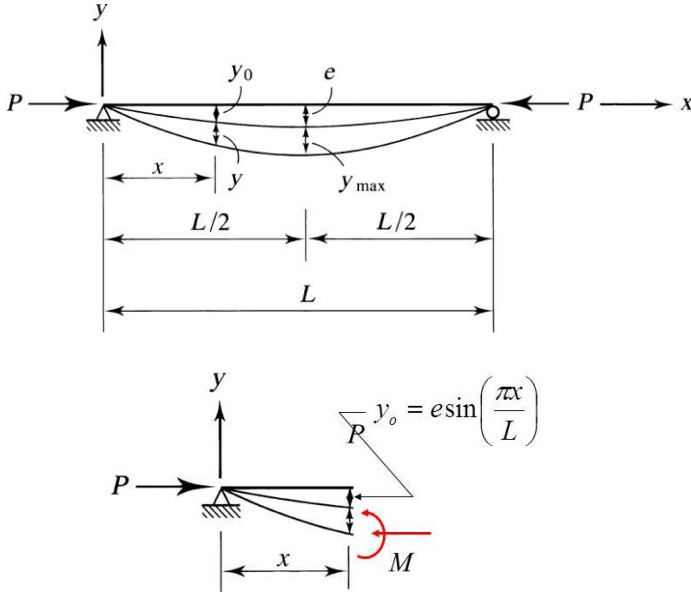
Şekil 6.1

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi, eksenel kuvvetin etkisi ile ikinci mertebe momentleri iki şekilde olur. Birincisinde elemanda meydana gelen sehimden dolayı eleman eksenel kuvveti ile eleman sehiminin çarpılması ile hesaplanır ( $M_1 = P\delta$ ). Bu şekilde oluşan ikinci mertebe etkiye  $P-\delta$  etkisi denir. İkincisinde sistem düğüm noktasındaki yerdeğıştirme ve yerdeğıştirme ile aynı doğrultuda düğüm noktasına etkiyen kuvvetin çarpılması ile hesaplanır ( $M_2 = P\Delta$ ). Bu şekilde oluşan ikinci mertebe etkiye de  $P-\Delta$  etkisi denir.

### 6.4. MOMENT BÜYÜTME YÖNTEMİ

Prof.Dr. Zeki AY

Çelik ve Kompozit Yapı Elemanları



Şekil 6.2

$$y_0 = e \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)$$

Moment Eğrilik;

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EI}$$

$$M = P(y_0 + y)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} \left( e \sin \frac{\pi x}{L} + y \right)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{P}{EI} y = -\frac{Pe}{EI} \sin \frac{\pi x}{L} \quad \text{İkinci mertebeden homojen diferansiyel denklem}$$

Sınır şartları;

$$x = 0 \quad y = 0$$

$$x = L \quad y = 0$$

Çözüm;

$$y = B \sin \frac{\pi x}{L}$$

$y = B \sin \frac{\pi x}{L}$  dif. denklemde yerine yazarsak;

$$-\frac{\pi^2}{L^2} B \sin \frac{\pi x}{L} + \frac{P}{EI} B \sin \frac{\pi x}{L} = -\frac{Pe}{EI} \sin \frac{\pi x}{L}$$

B için çözüm;

$$B = \frac{-\frac{Pe}{EI}}{\frac{P}{EI} - \frac{\pi^2}{L^2}} = \frac{-e}{1 - \frac{\pi^2 EI}{PL^2}} = \frac{e}{\frac{\pi^2 EI}{PL^2} - 1}$$

$$B = \frac{e}{\frac{P_e}{P} - 1}$$

$$y = B \sin \frac{\pi x}{L} = \left[ \frac{e}{(P_e/P) - 1} \right] \sin \frac{\pi x}{L} =$$

$$y = \left[ \frac{1}{(P_e/P) - 1} \right] \left( e \sin \frac{\pi x}{L} \right) = \left[ \frac{1}{(P_e/P) - 1} \right] y_o$$

Moment;

$$M = P(y_o + y) = P \left\{ e \sin \frac{\pi x}{L} + \left[ \frac{e}{(P_e/P) - 1} \right] \sin \frac{\pi x}{L} \right\}$$

$$= P \left( e \sin \frac{\pi x}{L} \right) \left[ \frac{1}{1 - (P/P_e)} \right]$$

$$M_o(x) = P \left( e \sin \frac{\pi x}{L} \right)$$

$$\left[ \frac{1}{1 - (P/P_e)} \right] = \text{Büyütme faktörü}$$

Maximum moment  $X=L/2$ 'de meydana gelir.

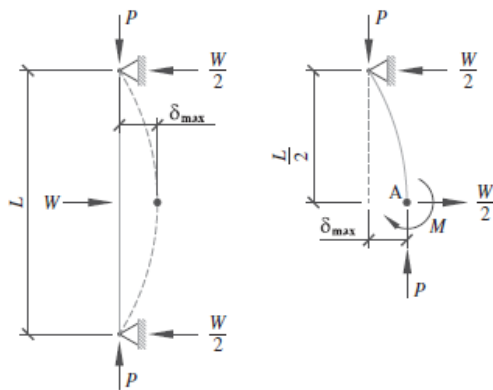
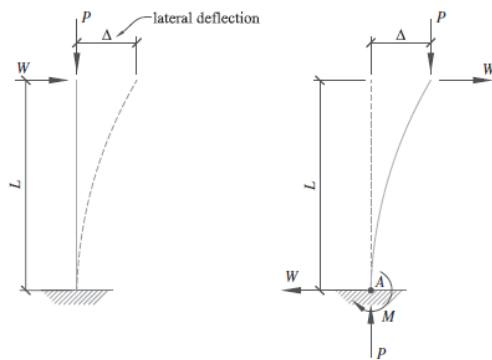
$$M_{\max} = P \left[ e + \frac{e}{(P/P_e) - 1} \right]$$

$$M_{\max} = Pe \left[ \frac{(P/P_e) - 1 + 1}{(P/P_e) - 1} \right]$$

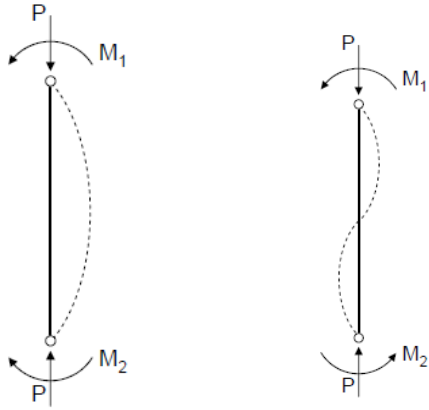
$$M_{\max} = M_o \left[ \frac{1}{1 - (P/P_e)} \right]$$

$$\left[ \frac{1}{1 - (P_u/P_e)} \right] = \text{YDKT için büyütme faktörü}$$

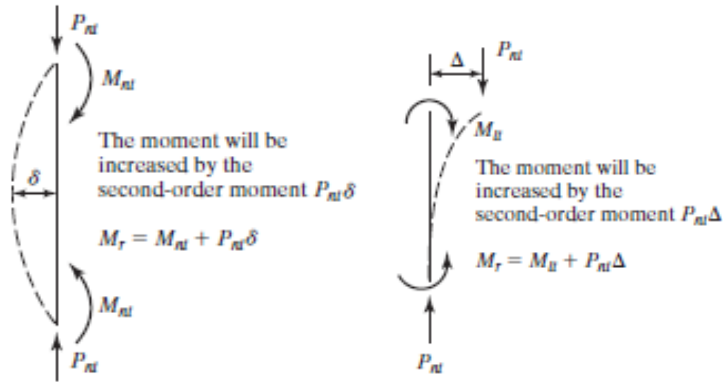
$$\left[ \frac{1}{1 - (P_a/P_e)} \right] = \text{GKT için büyütme faktörü}$$

Şekil 6.3 Moment Büyütme P- $\delta$  etkisindenŞekil 6.4 Moment Büyütme P- $\Delta$  etkisinden



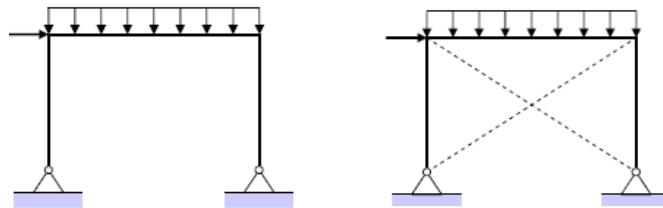


Şekil 6.5 (a) Negative M1/M2 (b)Positive M1/M2



Şekil 6.6

## 6.5 ÇAPRAZLI –ÇAPRAZSIZ ÇERÇEVELER



Şekil 6.7 (a) Çaprazsız Çerçeve

(b) Çaprazlı Çerçeve

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

$M_r$  = Gerekli moment dayanımı

YDKT için  $M_{nt}$  , GKT için  $M_{lt}$

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

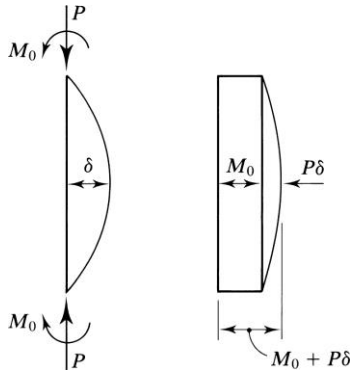
$M_{nt}$  = Yanal ötelemeden oluşmadığı kabul edilen 1. mertebeden max. Moment

$M_{lt}$  = Yanal ötelemeden oluştuğu kabul edilen 1. mertebeden max. Moment

$B_1$  = Yanal öteleme olmayan elemanda moment için büyütme faktörü

$B_2$  = Yanal ötelemeden dolayı elemanda moment büyütme faktörü

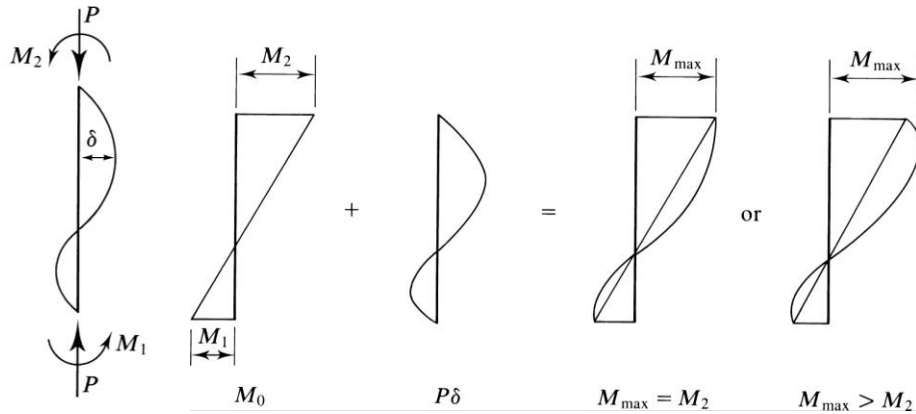
## 6.6 ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER



Şekil 6.8

$$M = P(y_o + y)$$

$$= M_o \left[ \frac{1}{1 - (P_e/P)} \right]$$



Şekil 6.9

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - (aP_r/P_{e_1})} \geq 1$$

$P_r$  = Gerekli aksenal basınç dayanımı

Prof.Dr. Zeki AY

Çelik ve Kompozit Yapı Elemanları

=  $P_u$  YDKT için

=  $P_a$  GKT için

$P_r$ 'nin  $P\Delta$  katkısı;

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt}$$

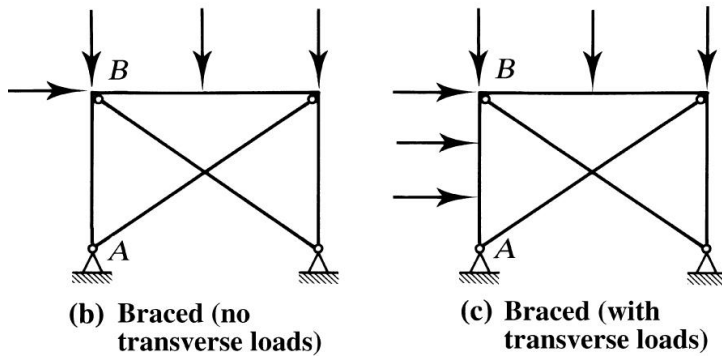
$$B_1 = \frac{C_m}{1 - (aP_r/P_{e1})} \geq 1 \quad \text{AISC Equation C2 - 2}$$

$a = 1$  YDKT için ,  $a = 1.6$  GKT için;

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2}$$

### 6.6.1 $C_m$ Katsayısının Belirlenmesi

#### $C_m$ For Braced & NO TRANSVERSE LOADS

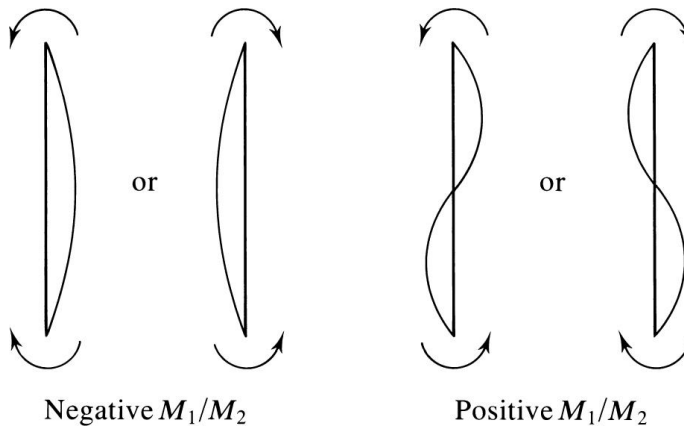


Şekil 6.10

$$C_m = 0.6 - 0.4 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \quad \text{AISC C2 - 4}$$

$M_1$  : Mutlak değerce en küçük uç moment

$M_2$  : Mutlak değerce en büyük uç moment




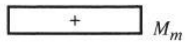
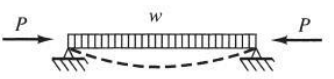
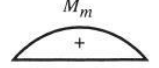
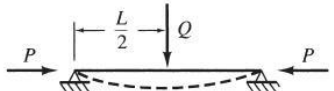
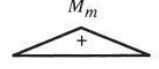
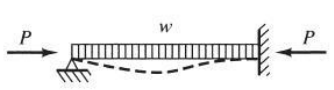
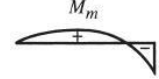
Şekil 6.11

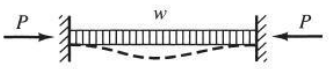
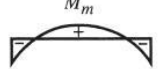

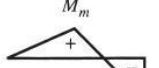
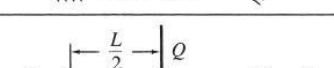
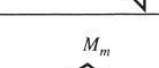
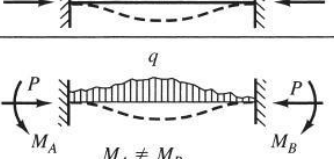
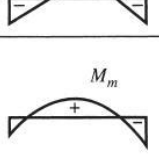
$$C_m = 1 + \Psi \left( \frac{aP_r}{P_{e1}} \right)$$

$$\Psi = \frac{\pi^2 \delta_o EI}{M_o L^2} - 1$$

**Conservatively**  $C_m = 1$  ,  $M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$

TABLE 12.3.1 Suggested Values for  $C_m$  for Situations with No Joint Translation<sup>a</sup>

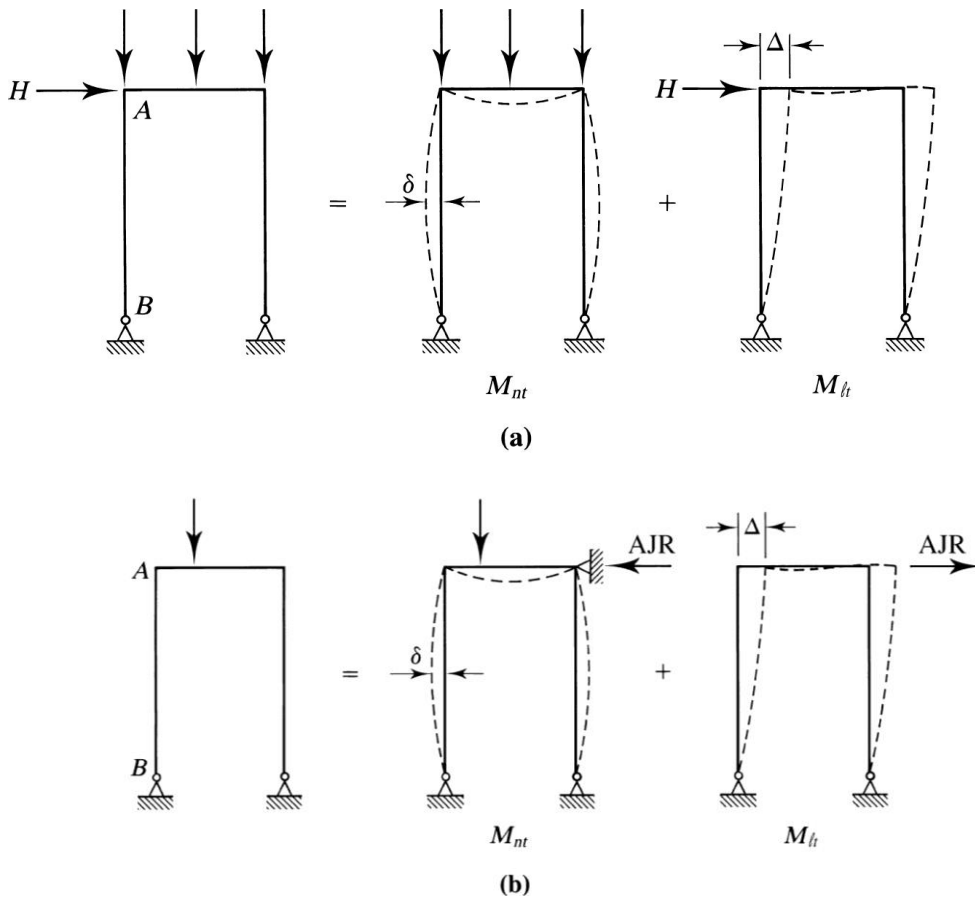
Case	$C_m$ (positive moment)	$C_m$ (negative moment)	Primary Bending Moment
1 	$1 + 0.2\alpha^\dagger$	—	
2 	1.0	—	
3 	$1 - 0.2\alpha$	—	
4 	$1 - 0.3\alpha$	$1 - 0.4\alpha$	

5		$1 - 0.4\alpha$	$1 - 0.4\alpha$	
6		$1 - 0.4\alpha$	$1 - 0.3\alpha$	
7		$1 - 0.6\alpha$	$1 - 0.2\alpha$	
8		Eq. (12.3.8)	not available	

<sup>a</sup>Adapted from AISC Commentary Table C-C2.1

$$\alpha = \frac{P_u}{P_e} = \frac{P_u}{\pi^2 E / KL / i)^2} \geq 0.2$$

### 6.7 ÇAPRAZSIZ ÇERÇEVELER



Şekil 6.12  
Prof.Dr. Zeki AY

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{a \sum P_{nt}}{\sum P_{e2}}} \geq 1$$

$\sum P_{nt}$  = sum of required load capacities for all columns in the story under consideration

$\sum P_{e2}$  = sum of the Euler loads for all columns in the story under consideration

Used when shape is known  
e.g. check of adequacy;

$$\sum P_{e2} = \sum \frac{\pi^2 EI}{(K_2 L)^2}$$

Used when shape is NOT known  
e.g. design of members;

$$\sum P_{e2} = R_m \frac{\sum HL}{\Delta_H}$$

I = Moment of inertia about axis of bending

$K_2$  = Unbraced length factor corresponding to the unbraced condition

L = Story Height

$R_m$  = 0.85 for unbraced frames

$\Delta_H$  = drift of story under consideration

$\sum H$  = sum of all horizontal forces causing  $\Delta_H$

## 6.8 KOLONLARIN TASARIMI

Burada kısaca kolon olarak tanımladığımız elemanlar dolu gövdeli tek parçalı kiriş-kolonlardır. Kolonların tasarımında çok fazla değişken olması, el ile yapılan işlemlerin uzun sürmesine ve işlem hatasına neden olabilmektedir. Günümüzde bilgisayar destekli çelik yapı tasarımında çok gelişmiş bilgisayar programları kullanarak bu sorunlar çözülmektedir.

Eğer başlangıç denklemi olarak aşağıdaki denklemi alırsak;

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ veya } pP_r \geq 0.2 \text{ ise}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

Bu denklem aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\left( \frac{1}{P_c} \right) P_r + \left( \frac{8}{9M_{cx}} \right) M_{rx} + \left( \frac{8}{9M_{cy}} \right) M_{ry} \leq 1.0$$

veya ;

$$pP_r + b_x M_{rx} + b_y M_{ry} \leq 1.0$$

Burada;

$$p = \frac{1}{P_c}$$

$$b_x = \frac{8}{9M_{cx}}$$

$$b_y = \frac{8}{9M_{cy}}$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ veya } pP_r < 0.2$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

veya

$$0.5pP_r + (9/8)(b_x M_{rx} + b_y M_{ry}) \leq 1.0$$

YDKT için;

$$p = \frac{1}{P_c} = \frac{1}{\phi_c P_n}$$

$$b_x = \frac{8}{9M_{cx}} = \frac{8}{9(\phi_b M_{nx})}$$

$$b_y = \frac{8}{9M_{cy}} = \frac{8}{9(\phi_b M_{nx})}$$

GKT için;

$$p = \frac{1}{P_c} = \frac{1}{P_n / \Omega_c}$$

$$b_x = \frac{8}{9M_{cx}} = \frac{8}{9(M_{nx} / \Omega_b)}$$

$$b_y = \frac{8}{9M_{cy}} = \frac{8}{9(M_{ny} / \Omega_b)}$$

### **C<sub>b</sub>≠1 durumu için Düzenleme:**

düzeltilmiş  $\phi_b M_{nx} = \text{düzeltilmemiş } \phi_b M_{nx} \times C_b \leq \phi_b M_{px}$

$$b_x = \frac{8}{9(\phi_b M_{nx} \times C_b)} \leq \frac{8}{9(\phi_b M_{px})}$$

### **Çaprazların Tasarımı:**

#### **Çaprazsız Kolonların Tasarımı**

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

$$B_1 = \frac{1.0}{1 - \left( \frac{P_u}{P_e} \right)} \geq 1$$

$$B_2 = \frac{1.0}{1 - \frac{\sum P_u}{R_M \sum H} \left[ \frac{\Delta_{oh}}{L} \right]}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{a \sum P_{nt}}{\sum P_{e2}}} \geq 1$$

$$\sum P_{e2} = \sum \frac{\pi^2 EI}{(K_2 L)^2}$$



$$\sum P_{e2} = R_m \frac{\sum HL}{\Delta_H}$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)$$

### 6.9 EKSENEL BASINÇ VE EĞİLME MOMENTİNE VE MARUZ ÇİFT VE TEK SİMETRİ EKSENLİ ELEMANLAR

Eğilme momenti ve ekselel basınç etkisi altında, çift simetrlili(I, çift U, kutu, boru dolu daire, dolu dikdörtgen(kare)), tek simetrlili(U, T, çift köşebent) elemanlar için etkileşim denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$P_r$ : YDKT veya GKT yük birleşimleri için gerekli ekselel kuvvet dayanımı.  
Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

#### YDKT'e göre tasarım;

$P_r$  =(YDKT) yük birleşimleri için gerekli ekselel kuvvet dayanımı.

$P_c$  = mevcut ekselel basınç kuvveti dayanımı=  $\phi_c P_n$

$M_r$  = (YDKT) yük birleşimleri için gerekli eğilme momenti dayanımı.

$M_c$ = mevcut eğilme momenti dayanımı=  $\phi_b M_n$

$\phi_c$ = basınç için dayanım faktörü=0.90

$\phi_b$  =eğilme için dayanım faktörü=0.90

x= kuvvetli ekseni gösteren alt indis.

y= zayıf ekseni gösteren alt indis.

#### GKT'e göre tasarım;

Prof.Dr. Zeki AY

Çelik ve Kompozit Yapı Elemanları

$P_r$  =(GKT) yük birleşimleri için gerekli aksenal kuvvet dayanımı.

$P_c$  = mevcut aksenal basınç kuvveti dayanımı=  $P_n/\Omega_c$

$M_r$  = (YDKT) yük birleşimleri için gerekli eğilme momenti dayanımı.

$M_c$ = mevcut eğilme momenti dayanımı=  $M_n/\Omega_b$

$\Omega_c$  = basınç için dayanım faktörü=1.67

$\Omega_b$  =eğilme için dayanım faktörü=1.67

x= kuvvetli ekseni gösteren alt indis.

y= zayıf ekseni gösteren alt indis.

Dolu daire ve boru kesitler hariç olmak üzere, yukarıdaki 1. derece denklemde aksenal kuvvetin etkisi değişmeksizin, aşağıdaki gibi, karelerin toplamının karekökü alınarak 2.ci dereceden denklem kullanılabilir.

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \sqrt{\left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right)^2 + \left( \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right)^2} \right) \leq 1.0$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left( \sqrt{\left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right)^2 + \left( \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right)^2} \right) \leq 1.0$$

**Düzleminde burkulma durumunda:**

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx, NoLTB}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx, NoLTB}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

YDKT için;  $M_{cx, NoLTB} = \phi_b M_{nx}$

GKT için;  $M_{cx, NoLTB} = M_{nx} / \Omega_b$

### **Düzlemi dışında burkulma durumunda:**

$$\frac{P_r}{P_{cy}} \left( 1.5 - 0.5 \frac{P_r}{P_{cy}} \right) + \left( \frac{M_{rx}}{C_b M_{cx}} \right)^2 \leq 1.0$$

$P_{cy}$  =düzlemi dışında eğilmeyi göz önüne alan mevcut basınç dayanımı

$M_{cx}$  =yanal burulmalı burkulma tüm durumları göz önüne alan mevcut eğilme dayanımı

*Kuvvetli asal eksen etrafındaki eğilme momentinin etkin olduğu ( $M_{ry} / M_{cy} < 0.05$ ),  $L_{cz} \leq L_{cy}$  koşulunu sağlayan eğilme momenti ve basınç kuvveti etkisindeki çift simetri eksenli kompakt hadde elemanlar için, (ÇYTY-2016)Bölüm 7.1.1' de verilen yaklaşım yerine, iki bağımsız sınır durumun düzlem içi stabilite kaybı ve düzlemine dik burkulma veya yanal burulmalı burkulma olarak ayrı ayrı aşağıda açıklandığı şekilde dikkate alınmasına izin verilir.*

*(a) Düzlem içi stabilite kaybını esas alan sınır durumda (ÇYTY-2016)Denk.(11.1a) veya Denk.(11.1b) kullanılacaktır.*

*(b) Düzlemine dik burkulma ve yanal burulmalı burkulma sınır durumu için aşağıdaki kullanılacaktır.*

$$\frac{P_r}{P_{cy}} \left( 1.5 - 0.5 \frac{P_r}{P_{cy}} \right) + \left( \frac{M_{rx}}{C_b M_{cx}} \right)^2 \leq 1.0$$

*$M_{ry} / M_{cy} \geq 0.05$  olan elemanlar için ÇYTY Bölüm 7.1.1 de verilen esaslar uygulanacaktır.*

*Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.*

*$P_c$ : Eğilme düzlemi içindeki mevcut eksenel basınç kuvveti dayanımı.*

*$M_{cx}$ : Akma sınır durumu için mevcut eğilme momenti dayanımı.*

*$L_{cz}$ : Eleman boyuna eksen etrafındaki burkulma boyu (=  $K_z L_z$ ).*

*$L_{cy}$ : y-ekseni etrafındaki burkulma boyu (=  $K_y L_y$ ).*

*$P_{cy}$ : Eğilme düzlemine dik doğrultuda mevcut basınç kuvveti dayanımı, (=  $\phi_c P_n$  veya  $P_n / \Omega_c$ ).*

$C_b$ : Bölüm 9.1 de belirlenen moment düzeltme katsayısı.

$M_{cx}$ : Bölüm 9 a göre  $C_b = 1.0$  alınarak kuvvetli eksen etrafında yanal burulmalı burkulma sınır durumu için belirlenen mevcut eğilme momenti dayanımı, ( $= \Phi_b M_n$  veya  $M_n/\Omega_b$ ).

$M_{rx}$ : (YDKT) veya (GKT) yük birleşimleri için gerekli eğilme momenti dayanımı.

## 6.10 EKSENEL ÇEKME VE EĞİLME MOMENTİNE MARUZ ÇİFT VE TEK SİMETRİ EKSENLİ ELEMANLAR

Eğilme momenti ve aksenal basınç etkisi altında, çift simetrlili(I, çift U, kutu, boru dolu daire, dolu dikdörtgen(kare)), tek simetrlili(U, T, çift köşebent) elemanlar için etkileşim denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

Dolu daire ve boru kesitler hariç olmak üzere, yukarıdaki 1. derece denklemde aksenal kuvvetin etkisi değişmeksizin, aşağıdaki gibi, karelerin toplamının karekökü alınarak 2.ci dereceden denklem kullanılabilir.

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \sqrt{\left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right)^2 + \left( \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right)^2} \right) \leq 1.0$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left( \sqrt{\left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right)^2 + \left( \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right)^2} \right) \leq 1.0$$

Geometrik eksenleri ( $x$  ve/veya  $y$ ) etrafında eğilme etkisindeki çift ve tek simetri eksenli elemanlarda eğilme momenti ve eksenel çekme kuvveti etkisindeki kolon hesabı (ÇYTY-2016)Denk.(7.1a) ve Denk.(7.1b) ile yapılır.

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$P_r$  : (YDKT) veya (GKT) yük birleşimleri için gerekli eksenel kuvvet dayanımı.

$P_c$ : (ÇYTY-2016)Bölüm 7 ye göre mevcut eksenel çekme kuvveti dayanımı, (=  $\Phi_t P_n$  veya  $P_n/\Omega_t$ ).

$M_r$  : (YDKT) veya (GKT) yük birleşimleri için gerekli eğilme momenti dayanımı.

$M_c$ : Bölüm 9 a göre mevcut eğilme momenti dayanımı, (=  $\Phi_b M_n$  veya  $M_n/\Omega_b$ ).

$x$ : Kuvvetli eksen gösteren alt indis.

$y$ : Zayıf eksen gösteren alt indis.

YDKT için:

$\Phi_t$ : Çekme kuvveti etkisi için dayanım katsayısı, (Bkz.ÇYTY Bölüm 7).

$\Omega_b$ : Eğilme momenti etkisi için dayanım katsayısı, (= 0.90).

GKT için:

$\Phi_c$ : Çekme kuvveti etkisi için güvenlik katsayısı, (Bkz. ÇYTY Bölüm 7).

$\Omega_b$ : Eğilme momenti etkisi için güvenlik katsayısı, (= 1.67).

Çift simetri eksenli elemanlar için, eğilme momentinin eksenel çekme kuvveti ile birlikte etkimesi durumunda, Bölüm 9.1 de tanımlanan moment düzeltme katsayısı,  $C_b$ , değeri

$$\sqrt{1 + \frac{\alpha P_r}{P_{ey}}}$$

katsayısı ile çarpılabilir.

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$$P_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_b^2}$$

$P_{ey}$ : Zayıf eksen etrafındaki burkulmada elastik kritik burkulma yükü.

$L_b$ : Basınç başlığında yanıl yerdeğiştirmenin ve enkesit burulmasının önlendiği noktalar arasındaki eleman uzunluğu (stabilite bağlantısı ile desteklenmeyen eleman uzunluğu).

$I_y$  :  $y$ -ekseni etrafında atalet momenti.

$\alpha = 1.0$  (YDKT);  $\alpha = 1.6$  (GKT)

*Eğilme momenti ve aksenal çekme kuvveti etkileşiminin sınırlandırılmasında Denk.(7.1a) ve Denk.(7.1b) yerine daha detaylı bir analiz de yapılabilir*

### 6.11 EKSENEL KUVVET VE EĞİLME MOMENTİNE MARUZ SİMETRİK OLMAYAN ELEMANLAR

$$\left| \frac{f_{ra}}{F_{ca}} + \frac{f_{rbw}}{F_{cbw}} + \frac{f_{rbz}}{F_{cbz}} \right| \leq 1.0$$

$f_{ra}$  = göz önüne alınan noktada gerekli aksenal gerilme

$F_{ca}$  = göz önüne alınan noktada mevcut aksenal gerilme

w indisi=kuvvetli eksen, z indisi zayıf eksen gösterir.

Burada;

YDKT'ye göre;

$f_{ra}$  =YDKT'e göre hesaplanmış gerekli aksenal gerilme

$F_{ca}$  = Tasarım aksenal gerilme =  $\phi_c F_{cr}$  veya  $\phi_t F_y$

*Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.*

$f_{ra}$  : (YDKT) veya (GKT) yük birleşimleri için, dikkate alınan noktadaki en büyük aksenal gerilme.

$F_{ca}$ : Dikkate alınan noktadaki aksenal kuvvet mevcut sınır gerilmesi.

(YDKT) için basınç etkisinde ÇYTY Bölüm 8 (=  $\phi_c F_{cr}$ ) veya çekme etkisinde Bölüm 7 ye göre belirlenen tasarım aksenal gerilmesi.

(GKT) için basınç etkisinde ÇYTY Bölüm 8 (=  $F_{cr} / \Omega_c$ ) veya çekme etkisinde Bölüm 7'ye göre belirlenen aksenal kuvvet güvenlik gerilmesi

$f_{rbw}$ ,  $f_{rbz}$  : (YDKT) veya (GKT) yük birleşimleri için, dikkate alınan noktadaki en büyük eğilme gerilmesi.

$F_{cbw}$ ,  $F_{cbz}$ : Dikkate alınan noktadaki eğilme momenti mevcut sınır gerilmesi.

(YDKT) için dikkate alınan noktadaki eğilme momenti tasarım gerilmesi, ( $\Phi_b M_n / W_e$ )

(GKT) için dikkate alınan noktadaki eğilme momenti güvenlik gerilmesi,

$$\left( = \frac{M_n}{\Omega_b W_e} \right)$$

YDKT için

$\Phi_c$ : Basınç etkisi için dayanım katsayısı, (= 0.90).

$\Phi_t$ : Çekme kuvveti etkisi için dayanım katsayısı, (Bkz. ÇYTY Bölüm 7).

$\Phi_b$ : Eğilme momenti etkisi için dayanım katsayısı, (= 0.90).

GKT için

$\Omega_c$ : Basınç etkisi için güvenlik katsayısı, (= 1.67).

$\Omega_t$ : Çekme kuvveti etkisi için güvenlik katsayısı, (Bkz. ÇYTY-2016 Bölüm 7).

$\Omega_b$ : Eğilme momenti etkisi için güvenlik katsayısı, (= 1.67).

$w$ : Kuvvetli asal eksenini gösteren alt indis.

$z$ : Zayıf asal eksenini gösteren alt indis.

$w$  ve  $z$  alt indisleri çift simetri eksenli elemanlarda  $x$  ve  $y$  eksenlerini göstermektedir.

$W_e$ : Asal eksen etrafındaki elastik mukavemet momenti (İlgili eğilme eksenini için  $W_{ew}$  veya  $W_{ez}$ )

$W_{ew}$ : Kuvvetli asal eksen etrafındaki elastik mukavemet momenti.

$W_{ez}$ : Zayıf asal eksen etrafındaki elastik mukavemet momenti.

$$\left| \frac{f_{ra}}{F_{ca}} + \frac{f_{rbw}}{F_{cbw}} + \frac{f_{rbz}}{F_{cbz}} \right| \leq 1.0$$

Yukarıdaki denklemde, enkesitin kritik noktalarında asal eksenler etrafındaki eğilme gerilmelerinin yönleri gözönünde tutularak kullanılacaktır. Eğilme gerilmeleri ve eksenel gerilmeler işaretleri ile birlikte değerlendirilecektir. Eksenel kuvvetin basınç olması halinde, ikinci mertebe etkiler Bölüm 6 da belirtilen kurallara göre dikkate alınacaktır. Eğilme momenti ile eksenel çekme kuvveti etkileşiminin sınırlandırılması için Denk.(11.3) yerine daha detaylı bir analiz yapılabilir.

## 6.12 EKSENEL BASINÇ, KESME, BURULMA VE EĞİLME MOMENTİNE MARUZ ELEMANLAR

### 6.12.1 Burulma Etkisindeki Boru ve Kutu Enkesitli Elemanlar

Burulma etkisindeki boru ve kutu enkesitli elemanların karakteristik burulma dayanımı,  $T_n$ , ÇYTY-2016 Denk.(11.4) ile hesaplanacaktır.

$$T_n = F_u C$$

Burulma etkisindeki boru ve kutu enkesitli elemanlar için, tasarım burulma dayanımı,  $\Phi_T T_n$  (YDKT) veya güvenli burulma dayanımı,  $T_n / \Omega_T$  (GKT)  $\phi_c = 0.90$  (YDKT) veya  $\Omega_c = 1.67$  (GKT) alınarak belirlenecektir.

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$C$ : Boru ve kutu enkesitli elemanlar için tanımlanan burulma katsayısı.

$F_{cr}$ : Kritik gerilme.

Kritik gerilme,  $F_{cr}$ , aşağıda tanımlanmıştır.

(a) Boru enkesitli elemanlar için aşağıdaki deklemlerle ile hesaplanan değerlerden büyüğü kritik gerilme,  $F_{cr}$ , olarak alınacaktır.

$$F_{cr} = \frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t}\right)^4}} \leq 0.6F_y$$

$$F_{cr} = \frac{0.60E}{\left(\frac{D}{t}\right)^2} \leq 0.6F_y$$

Boru enkesitli elemanlar için burulma katsayısı,  $C$ , güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2}$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

L: Eleman uzunluğu.

D: Boru enkesitin dış çapı.

t: Boru enkesitin et kalınlığı, (bkz. ÇYTY-2016 Bölüm 5.4.2).

(b) Kutu enkesitli elemanlar için kritik gerilme,  $F_{cr}$ , aşağıdaki denklemler ile belirlenecektir.

$$\frac{h}{t} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{için} \quad F_{cr} = 0.6F_y$$

$$2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{için} \quad F_{cr} = \frac{0.6F_y \left(2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}\right)}{\left(\frac{h}{t}\right)}$$

$$3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 260 \quad \text{için} \quad F_{cr} = \frac{0.458\pi^2 E}{\left(\frac{h}{t}\right)^2}$$

Kutu enkesitli elemanlar için burulma katsayısı,  $C$ , güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$C = 2(B-t)(H-t)t - 4.5(4-\pi)t^3$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.



h: ÇYTY-2016 Bölüm 5.4.1.2 (d) de tanımlanan uzun kenar düz kısım genişliği.

t: ÇYTY-2016 Bölüm 5.4.2 de tanımlanan tasarım et kalınlığı.

B: Kutu enkesit genişliği.

H: Kutu enkesit yüksekliği.

### 6.12.2 Eksenel Basınç, Kesme, Burulma Ve Eğilme Momentine Maruz Elemanlar

Eğer;

$T_r \leq 0.2T_c$  ise burulma etkisi ihmal edilir.

**Kutu kesitli düzlem çerçeve elemanı için:**

$$\frac{P_r}{P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) + \left( \frac{V_{rx}}{V_{cx}} + \frac{T_r}{T_c} \right)^2 \leq 1.0$$

**Kutu kesitli uzay çerçeve elemanı:**

$$\frac{P_r}{P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) + \left( \frac{V_{rx}}{V_{cx}} + \frac{V_{ry}}{V_{cy}} + \frac{T_r}{T_c} \right)^2 \leq 1.0$$

**Boru kesitli düzlem çerçeve elemanı için:**

$$\frac{P_r}{P_c} + \left( \sqrt{\left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right)^2} \right) + \left( \frac{V_{rx}}{V_{cx}} + \frac{T_r}{T_c} \right)^2 \leq 1.0$$

**Boru kesitli uzay çerçeve elemanı:**

$$\frac{P_r}{P_c} + \left( \sqrt{\left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right)^2 + \left( \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right)^2} \right) + \left( \frac{V_{rx}}{V_{cx}} + \frac{V_{ry}}{V_{cy}} + \frac{T_r}{T_c} \right)^2 \leq 1.0$$

Gerekli burulma dayanımı,  $T_r$ , mevcut burulma dayanımı,  $T_c$ 'nin %20 sine eşit veya daha küçük olması halinde, boru ve kutu enkesitli elemanlar için burulma, kesme, eğilme ve/veya eksenel kuvvet etkileşimi, burulma etkileri terkedilerek Bölüm 11.1 e göre belirlenecektir.  $T_r$ 'nin  $T_c$ 'nin %20 sini aşması halinde ise bu etkileşim, gözönüne alınan noktada, aşağıdaki denklem ile sınırlandırılacaktır.

$$\left( \frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c} \right) + \left( \frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c} \right)^2 \leq 1.0$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

Prof.Dr. Zeki AY

Çelik ve Kompozit Yapı Elemanları

$P_r$  : (YDKT) veya (GKT) yük birleşimleri için gerekli aksel kuvvet dayanımı.

$P_c$ : Bölüm 7 veya ÇYTY-2016 Bölüm 8 e göre belirlenen mevcut çekme veya basınç kuvveti dayanımı, ( $= \Phi P_n$  veya  $P_n/\Omega$ ).

$M_r$  : (YDKT) veya (GKT) yük birleşimleri için gerekli eğilme momenti dayanımı.

$M_c$ : ÇYTY-2016 Bölüm 9 a göre belirlenen mevcut eğilme momenti dayanımı, ( $= \Phi_b M_n$  veya  $M_n/\Omega_b$ ).

$V_r$  : (YDKT) veya (GKT) yük birleşimleri için gerekli kesme kuvveti dayanımı.

$V_c$ : ÇYTY-2016 Bölüm 10 a göre belirlenen mevcut kesme kuvveti dayanımı, ( $= \Phi_v V_n$  veya  $V_n/\Omega_v$ ).

$T_r$  : (YDKT) veya (GKT) yük birleşimleri için gerekli burulma momenti dayanımı.

$T_c$ : ÇYTY-2016 Bölüm 11.3.1 e göre belirlenen mevcut burulma momenti dayanımı, ( $= \Phi_T T_n$  veya  $T_n/\Omega_T$ ).

### 6.13 BURULMA VE BİLEŞİK GERİLME ETKİSİNDEKİ BORU VE KUTU ENKESİTLER DIŞINDAKİ DİĞER TÜM ELEMANLAR

Karakteristik burulma dayanımı,  $T_n$ , aksel gerilmeler altında akma sınır durumu, kayma gerilmeleri etkisinde akma sınır durumu veya burkulma sınır durumlarının en küçüğü esas alınarak hesaplanacaktır.

Burulma ve bileşik gerilme etkisindeki boru ve kutu enkesitler dışındaki diğer tüm elemanlar için, tasarım burulma dayanımı,  $\Phi_T T_n$  (YDKT) veya güvenli burulma dayanımı,  $T_n/\Omega_T$  (GKT)

$\phi_T = 0.90$  (YDKT) veya  $\Omega_T = 1.67$  (GKT) alınarak belirlenecektir.

$F_n$  değeri, sınır durumlara göre, aşağıdaki denklemler ile elde edilecektir.

(a) Aksel gerilmeler altında akma sınır durumu için

$$F_n = F_y$$

(b) Kayma gerilmeleri altında akma sınır durumu için

$$F_n = 0.6F_y$$

(c) Burkulma sınır durumu için

$$F_n = F_{cr}$$

Buradaki terim aşağıda açıklanmıştır.

$F_{cr}$ : Enkesit için hesap ile belirlenen burkulma gerilmesi.

#### 6.14 ÇEKME ETKİSİNDEKİ DELİK KAYBI İÇEREN BAŞLIK ENKSİTLERİNDE KOPMA (TEK EKSENLİ (X-EKSENİ) EĞİLME VE EKSENEL BASINÇ ETKİSİ)

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \leq 1.0$$

Kuvvetli asal eksen etrafında eğilme momenti ve aksenal çekme kuvvetinin ortak etkisindeki başlıklarda, bulon deliklerinin bulunduğu enkesitte, başlığın çekme etkisindeki kopma (kırılma) dayanımı aşağıdaki denklem ile verilen koşulu sağlayacaktır. Eğilme momenti ve aksenal kuvvet nedeniyle çekme etkisindeki her bir başlık ayrı ayrı kontrol edilecektir.

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \leq 1.0$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$P_r$  : (YDKT) veya (GKT) yük birleşimleri için gerekli aksenal kuvvet dayanımı.

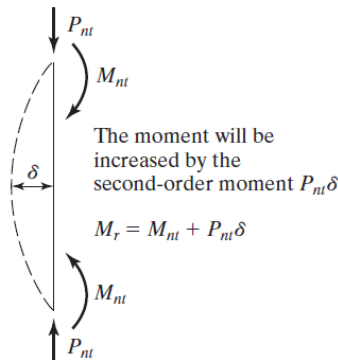
$P_c$ : ÇYTY-2016 Bölüm 7.2.2 ye göre belirlenen kırılma sınır durumu için mevcut aksenal çekme kuvveti dayanımı, ( $= \Phi_t P_n$  veya  $P_n / \Omega_t$ ).

$M_{rx}$  : (YDKT) veya (GKT) yük birleşimleri için gerekli eğilme momenti dayanım.

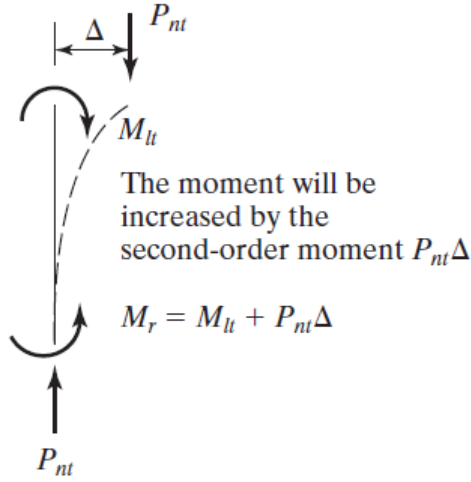
$M_{cx}$ : ÇYTY-2016 Bölüm 9.13.1 e göre belirlenen, başlığın çekme kırılması sınır durumu için x-ekseni etrafındaki mevcut eğilme momenti dayanımı, ( $= \Phi_b M_n$  veya  $M_n / \Omega_b$ ).

Eğilme etkisinde çekme kırılması sınır durumunun uygulanmadığı durumlarda, bulon deliği kayıplarının gözönüne alınmadığı plastik eğilme momenti,  $M_p$ , kullanılacaktır.

#### 6.15. EKSENEL BASINÇ VE EĞİLME ETKİSİNE MARUZ ELEMANLAR İÇİN BİRİNCİ VE İKİNCİ MERTEBE MOMENTLER



Şekil 6.13 Yanal ötelemesi önlenmiş kolonda moment büyütme



**Şekil 6.14** Yanal ötelemesi önlenmemiş kolonda moment büyütme

### 6.16 YAKLAŞIK İKİNCİ MERTEBE ANALİZ(ÇYTY-2016)

Bu yaklaşımda, ikinci mertebe etkilerin doğrudan doğruya hesaba katılması yerine uygulanabilecek bir yaklaşımın uygulama sınırları ve formülasyonu verilecektir. Bu yaklaşım, birinci mertebe analiz yöntemi kullanılarak elde edilecek iç kuvvetlerin ( $P$  ve  $M$ ) belirli katsayılarla artırılması prensibine dayanmaktadır.

Bu yaklaşım düşey yüklerin düşey çerçeveler, kolonlar ve perdeler tarafından taşındığı yapı sistemleri için uygulanabilir.

Sistem elemanlarının ikinci mertebe etkilerini içeren gerekli eğilme momenti dayanımı,  $M_r$ , ve gerekli aksel kuvvet dayanımı,  $P_r$ , sırasıyla aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt}$$

Buradaki terimler aşağıda tanımlanmıştır.

**B1:** Yatay ötelenmesi önlenmiş sistemin elemanlarındaki ( $P$ -) etkilerini gözönüne alan bir arttırma katsayısıdır. Bu katsayı, eğilme ve basınç etkisindeki elemanlar için, elemanın her iki eğilme doğrultusunda **Bölüm 6.5.2.1** de açıklandığı şekilde hesaplanır. Basınç etkisinde olmayan elemanlarda B1 katsayısı 1.0 olarak alınır.

**B2:** Yatay ötelenmesi önlenmemiş sistem genelindeki ( $P$ - $\Delta$ ) etkilerini gözönüne alan bir arttırma katsayısıdır. Bu katsayı, yapı sisteminin her katı için, her iki yatay yerdeğiştirme doğrultusunda **Bölüm 6.5.2.2** de açıklandığı şekilde hesaplanır.

**$M_r$ :** YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan ikinci mertebe etkileri içeren gerekli eğilme momenti dayanımı.

**$P_r$ :** YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan ikinci mertebe etkileri içeren gerekli aksel kuvvet dayanımı.

*Mnt: Yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe eğilme momenti.*

*Pnt: Yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe aksenal kuvvet.*

*M1t: Yapı sisteminin sadece yanal ötelenmesi sonucu, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında ilgili elemanda oluşan birinci mertebe eğilme momenti.*

*P1t: Yapı sisteminin yatay yer değiştirmelerinden dolayı, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe aksenal kuvvet.*

### 6.16.1 – P-δ Etkileri İçin B1 Arttırma Katsayısı

*Eğilme momenti ve aksenal basınç kuvveti etkisindeki elemanlar için, elemanın her iki eğilme doğrultusunda uygulanacak B1 arttırma katsayısı aşağıdaki denklemle ile hesaplanacaktır*

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{e1}}} \geq 1.0$$

$$P_{e1} = \frac{EI^*}{(K_1L)^2}$$

$$P_{e\ story} = \sum \frac{\pi^2 EI}{(K_2L)^2}$$

$$P_{e\ story} = R_M \frac{HL}{\Delta_H}$$

$$R_M = 1 - 0.15 \left( \frac{P_{mf}}{P_{story}} \right)$$

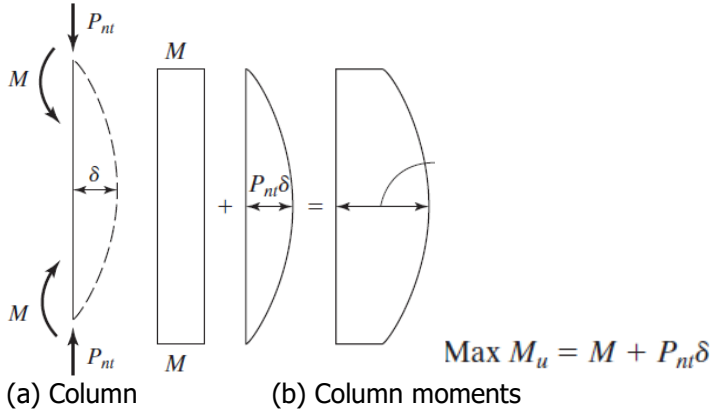
$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P_{story}}{P_{e\ story}}}$$

*Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.*

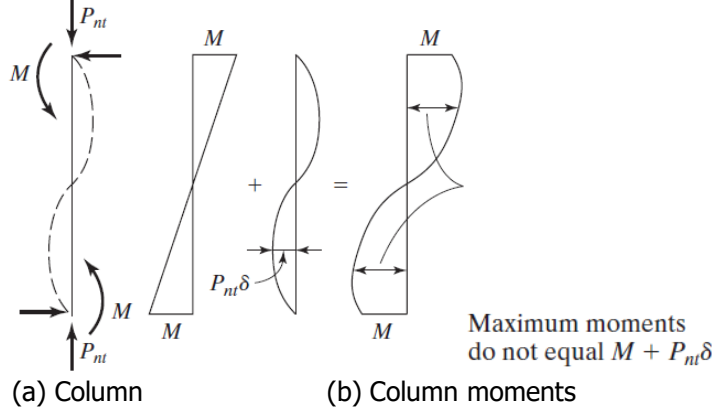
*a = 1.0 (YDKT) veya a= 1.6 (GKT)*

*Cm: Eşdeğer sabit moment yayılışına dönüştürme katsayısı. Bu katsayı yanal doğrultuda yerdeğiştirme yapmadığı varsayılan sistemlerin elemanlarında aşağıdaki şekilde hesaplanır.*

*(a) Eğilme düzleminde mesnetler arasında yanal yüklerin etkilediği elemanlarda:*



Şekil 6.15 Moment magnification for column bent in single curvature



Şekil 6.16 Moment magnification for column bent in double curvature.

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

Burada  $M_1$  ve  $M_2$ , elemanın uçlarında birinci derece analizi ile hesaplanan, sırasıyla küçük ve büyük eğilme momentlerini göstermektedir.  $M_1/M_2$  büyüklüğü çift eğrilikli eğilmede pozitif, tek eğrilikli eğilmede ise negatif olarak alınacaktır.

(b) Eğilme düzleminde mesnetler arasında yanal yüklerin etkidiği elemanlarda, güvenli yönde kalmak üzere,  $C_m=1.0$  değeri kullanılabilir.

Pel: Elemanın uç noktalarının yanal yerdeğiştirme yapmadığı varsayımı altında, eğilme düzlemindeki elastik burkulma yüküdür ve **aşağıdaki denklem** ile hesaplanır.

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI^*}{(K_1 L)^2}$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$EI^*$  : Genel analiz yöntemi ile tasarımda, ÇYTY-2016 **Bölüm 6.2.3** e göre hesaplanan azaltılmış rijitlik. Burkulma boyu yöntemi ile tasarımda ise  $EI^* = EI$  olarak alınacaktır.

$E$ : Yapısal çelik elastisite modülü (200000 MPa).

$I$ : Eleman enkesitinin eğilme düzlemindeki atalet momenti.

*L: Eleman boyu.*

*K1: Elemanın uç noktalarının yanal yerdeğiştirme yapmadığı varsayımı altında, eğilme düzlemindeki burkulma boyu katsayısı. Daha küçük bir değer aldığı geçerli bir yaklaşımla kanıtlanmadığı sürece  $K1=1.0$  olarak alınacaktır.*

*Pr büyüklüğü için, birinci mertebe yaklaşımına ait  $Pr = Pnt + P1t$  ifadesinin kullanılmasına izin verilebilir.*

### 6.16.2 P –Δ Etkileri İçin B2 Arttırma Katsayısı

*Sistemin her katında, her iki yanal yerdeğiştirme doğrultusunda uygulanacak B2 arttırma katsayısı **aşağıdaki denklem** ile hesaplanacaktır.*

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{kat}}{P_{e,kat}}} \geq 1$$

*Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.*

*$a = 1.0$  (YDKT) veya  $a = 1.6$  (GKT)*

*Pkat: YDKT veya GKT yük birleşimleri için, söz konusu katın tüm düşey taşıyıcı elemanlarına (yatay yük taşıyıcı sistemin dışında olan elemanlar da dahil) etkiyen toplam düşey yük.*

*Pe, kat: Gözönüne alınan yanal yerdeğiştirme doğrultusunda, söz konusu kata ait elastik burkulma yükü. Bu büyüklük burkulma analizi ile veya aşağıdaki denklem ile hesaplanacaktır.*

$$P_{e,kat} = R_M \frac{HL}{\Delta_H}$$

*Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.*

$$R_M = 1 - 0.15(P_{mf} / P_{kat})$$

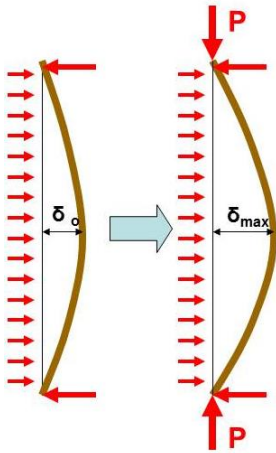
*RM: P-δ nın P-Δ üzerindeki etkisini gözönüne alan katsayı.*

*L: Kat yüksekliği.*

*Pmf: Gözönüne alınan doğrultuda moment aktaran çerçeveler bulunması halinde, bu çerçevelerin kat kolonlarına etkiyen toplam düşey yük, (çaprazlı çerçevelerde sıfır alınacaktır).*

*ΔH: Gözönüne alınan doğrultuda, seçilen yatay yükler altında, sistem rijitliği kullanılarak hesaplanan birinci mertebe görelî kat ötelemesi.*

*H: Gözönüne alınan doğrultuda, ΔH görelî kat ötelemesini hesaplamak için kullanılan yatay yüklerden oluşan kat kesme kuvveti.*

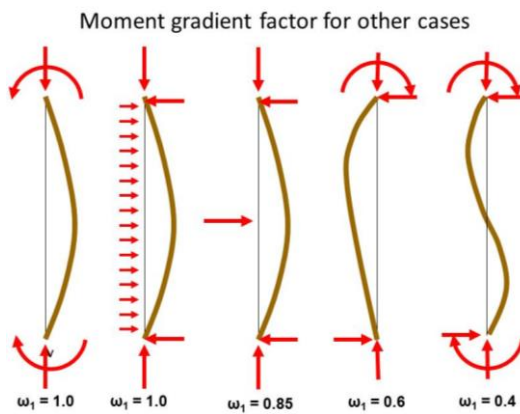


Şekil 6.17

$$\delta_{\max} = \left( \frac{1}{1 - P/P_E} \right) \delta_0$$

$$M_{\max} = \left( \frac{1}{1 - P/P_E} \right) M_0$$

$P_E = \text{Euler load}$

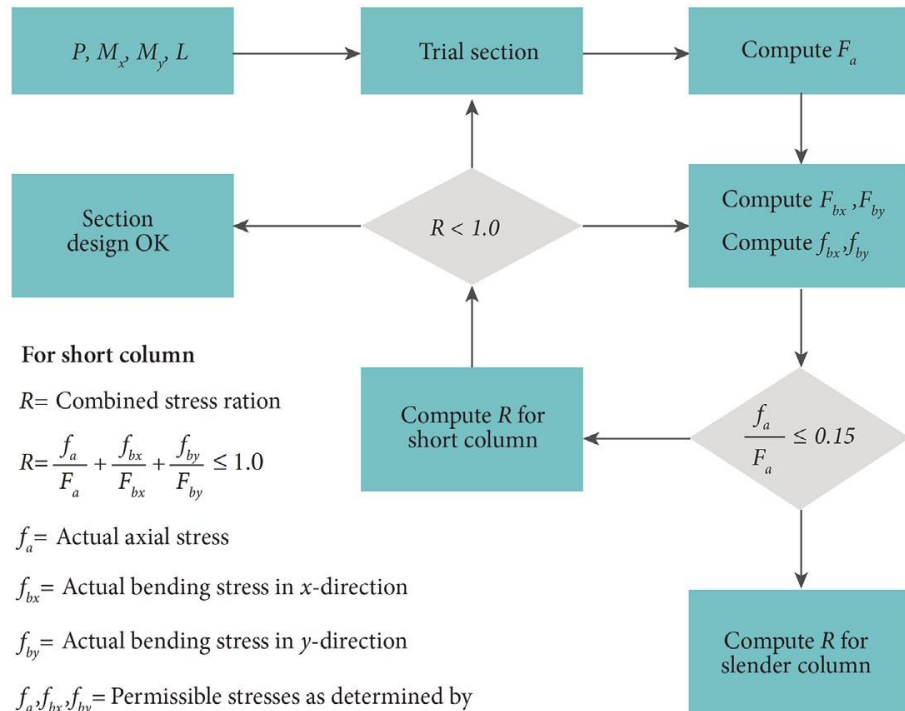


Şekil 6.18 Moment gradient factor for steel columns with end moments

$$\omega_1 = 0.6 - 0.4(M_1/M_2) \geq 0.4$$

When moments are equal and cause a single curvature, then  $\omega_1 = 1.0$  and when they are equal and cause an s-shape, then  $\omega_1 = 0.4$





For short column

$R =$  Combined stress ratio

$$R = \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

$f_a =$  Actual axial stress

$f_{bx} =$  Actual bending stress in  $x$ -direction

$f_{by} =$  Actual bending stress in  $y$ -direction

$f_a, f_{bx}, f_{by} =$  Permissible stresses as determined by a predefined failure criteria

$$f_a = \frac{P}{A_g} \quad f_{bx} = \frac{M_{x(max)}}{S_x} \quad f_{by} = \frac{M_{y(max)}}{S_y}$$

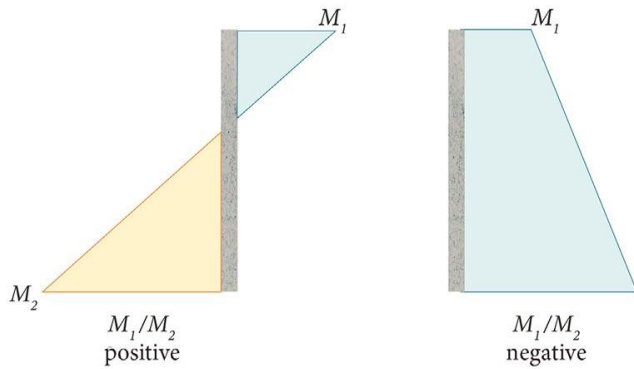
For slender column

$$R = \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx} \delta_x}{F_{bx}} + \frac{f_{by} \delta_y}{F_{by}} \leq 1.0$$

$$\text{and } R = \frac{f_a}{0.06F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

$$F'_{EX} = \frac{12\pi^2 E}{23(kL/r)_x^2} \quad \delta_x = \frac{C_{mx}}{1 - \frac{f_a}{F'_{EX}}}$$

$$F'_{EY} = \frac{12\pi^2 E}{23(kL/r)_y^2} \quad \delta_y = \frac{C_{my}}{1 - \frac{f_a}{F'_{EY}}}$$



$M_1$  is the smaller end moment  
 $M_2$  is the larger end moment

Buckling stresses

Stresses magnification factors due to slenderness

$$C_{my} = 0.6 - 0.4 \left( \frac{M_{1y}}{M_{2y}} \right)$$

$$C_{mx} = 0.6 - 0.4 \left( \frac{M_{1x}}{M_{2x}} \right)$$

Figure 5.24 The design of steel columns based on combined stress ratio ( $R$ ), AISC code.

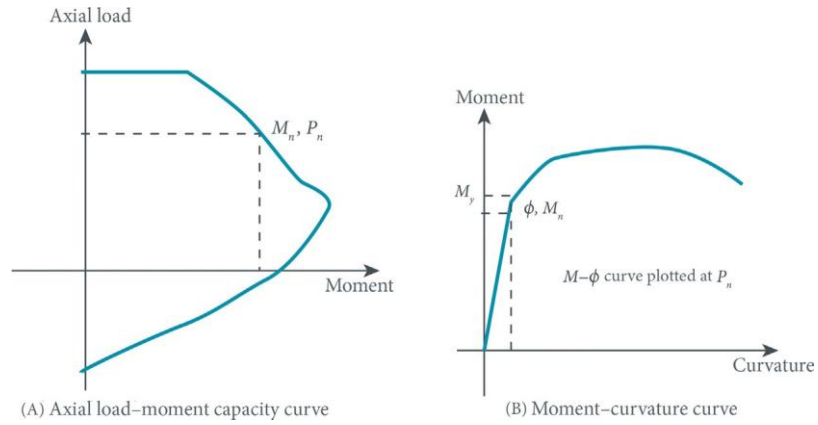
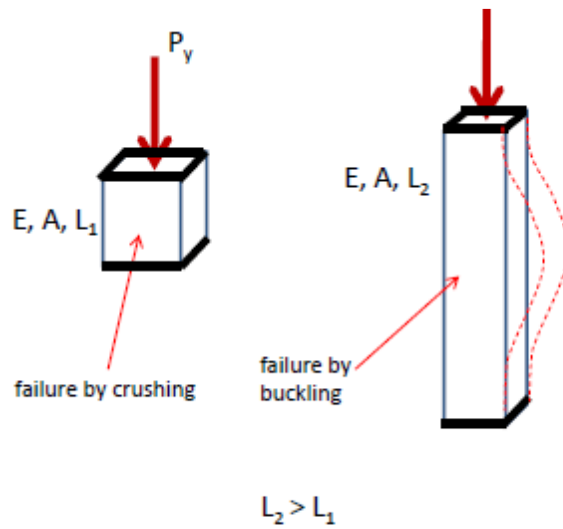
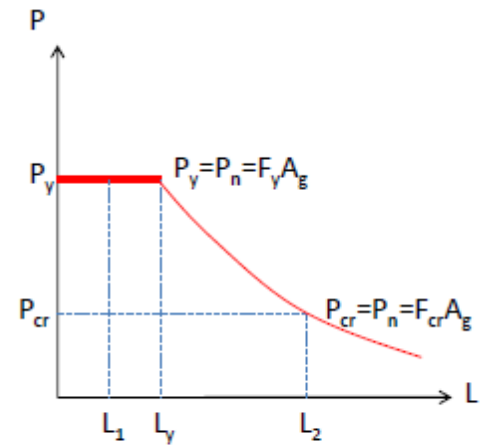


Figure 6.40 Relationship of capacity point on the interaction and moment curvature curves.



**Figure. Column failure Modes**  
(note: both ends of columns are fixed)

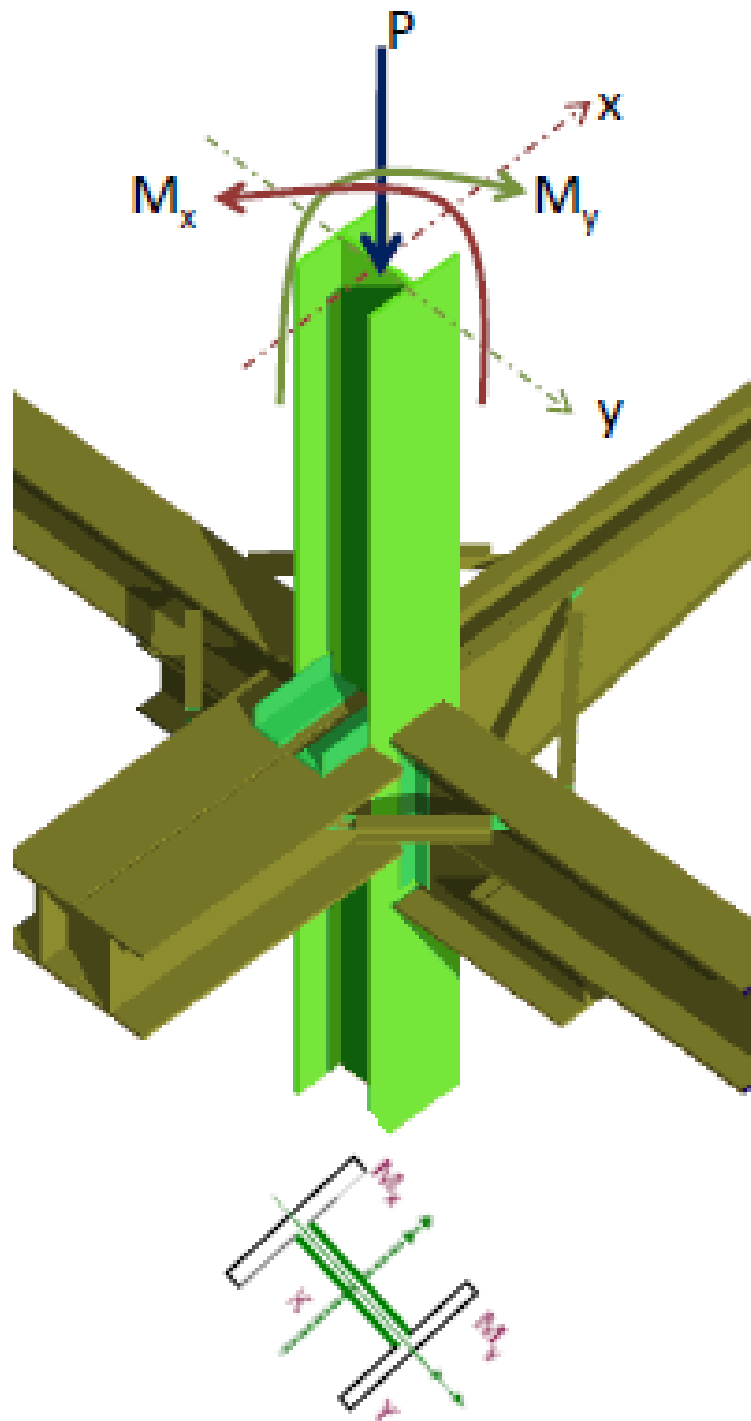


**Figure. Effect of L on axial load of a column member**

(a) When  $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  (or  $\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$ )  $\rightarrow$  inelastic buckling  $F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$

(b) When  $\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  (or  $\frac{F_y}{F_e} > 2.25$ )  $\rightarrow$  elastic buckling  $F_{cr} = 0.877 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$



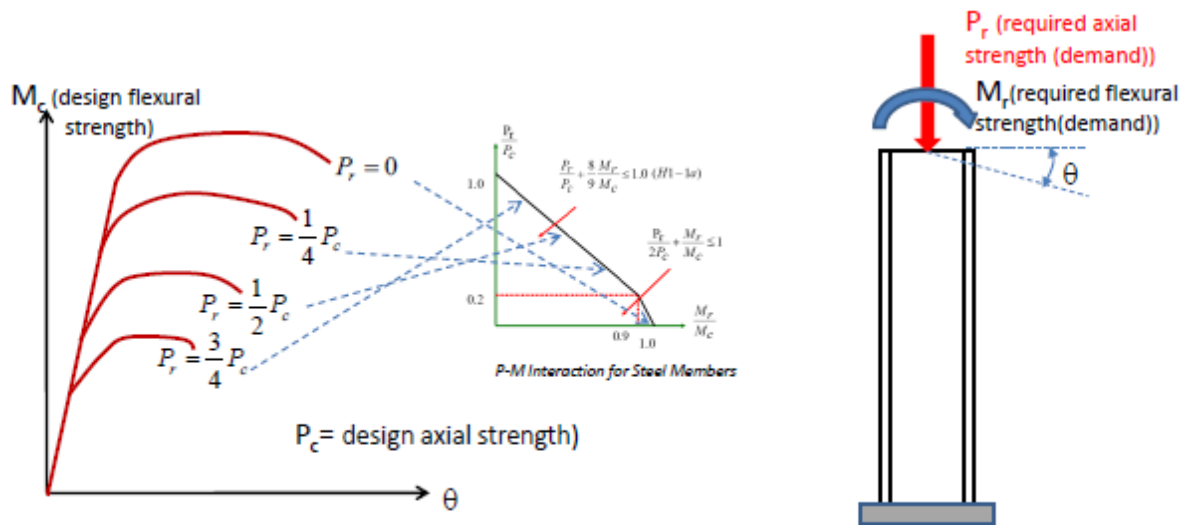


Figure . Effect of P-M interaction on bending strength

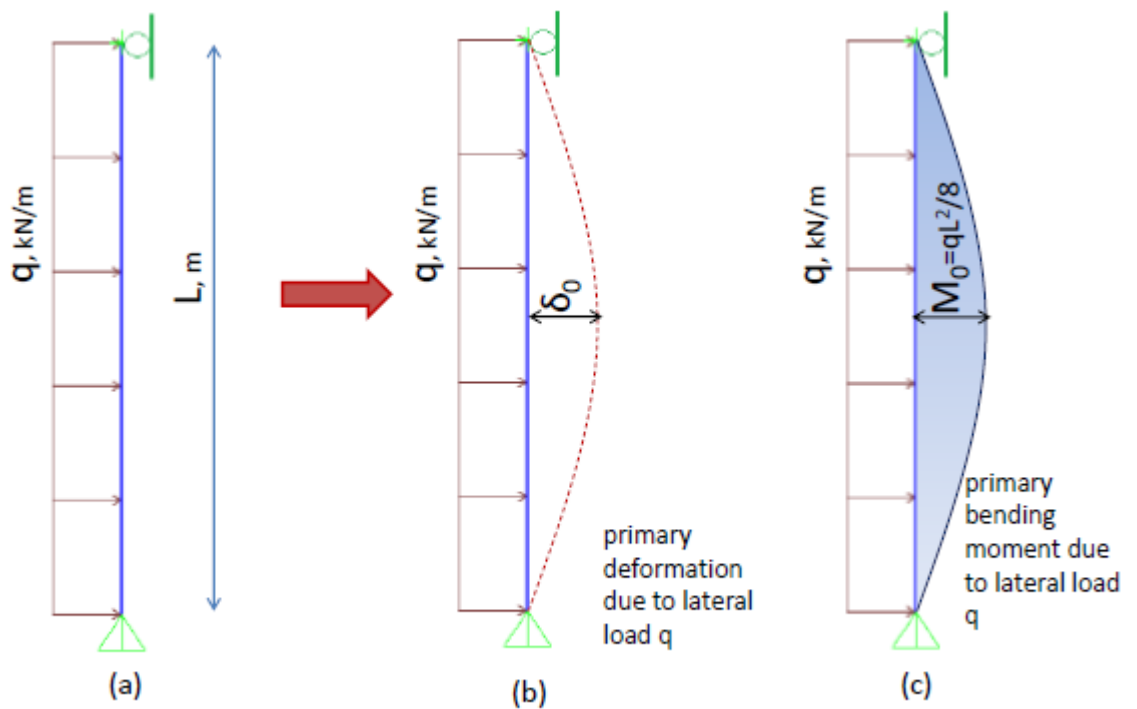
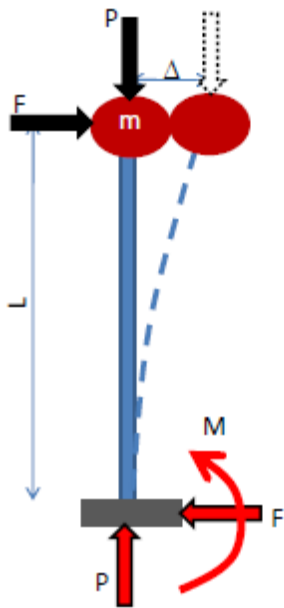


Figure . A Simply supported column subject to lateral force  $q$



$$M = FL \quad (\text{first-order moment})$$

$$M = FL + P\Delta = \mathbf{B_2}(FL) \quad (\text{second-order moment})$$